

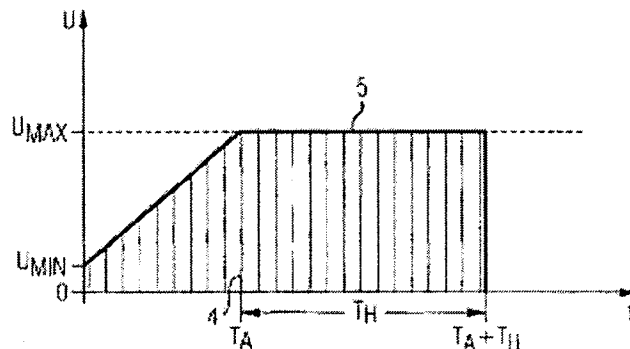
**Method for polarizing a piezo ceramics device e.g. for vehicle fuel injection system, involves using multiple DC consecutive pulses with pulse form corresponding to operation of piezo ceramics in motor vehicle.**

**Patent number:** DE10028335  
**Publication date:** 2002-02-14  
**Inventor:** KAINZ GERALD (AT); CRAMER DIETER (AT)  
**Applicant:** EPCOS AG (DE)  
**Classification:**  
- international: *H01L41/083; H01L41/24; H01L41/083; H01L41/24;*  
(IPC1-7): H01L41/24  
- european: H01L41/083; H01L41/24  
**Application number:** DE20001028335 20000608  
**Priority number(s):** DE20001028335 20000608

Report a data error here

**Abstract of DE10028335**

A main body (1) is made from unpolarized ceramic material with two or more electrodes with flat surfaces facing each other. A number of voltage pulses (4) are applied to the electrodes, whose pulse levels follow an envelope curve (5) by depending on time. The curve grows in a first section during a build-up time ( $T_A$ ) from a minimum voltage ( $U_{MIN}$ ) to a maximum voltage ( $U_{MAX}$ ) and holds the maximum voltage in a second section during a holding time ( $T_H$ ).



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



⑬ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 100 28 335 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**H 01 L 41/24**

⑳ Aktenzeichen: 100 28 335.7  
㉔ Anmeldetag: 8. 6. 2000  
㉕ Offenlegungstag: 14. 2. 2002

**DE 100 28 335 A 1**

㉑ Anmelder:  
EPCOS AG, 81541 München, DE  
  
㉒ Vertreter:  
Epping, Hermann & Fischer, 80339 München

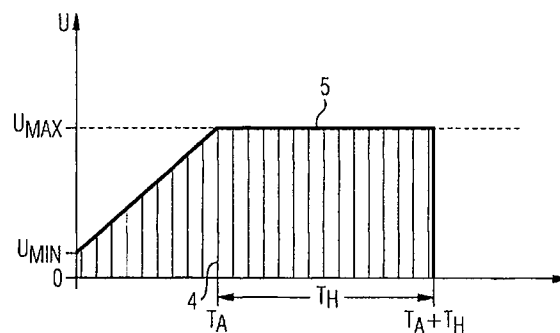
㉓ Erfinder:  
Kainz, Gerald, Dr., Graz, AT; Cramer, Dieter, Graz, AT  
  
㉔ Entgegenhaltungen:  
DE 197 56 182 A1  
US 55 12 796  
US 29 28 163  
Jaffe B.: Piezoelectric ceramics, Academic Press,  
London New York, 1971, S. 263-267;

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

㉕ Verfahren zum Polarisieren einer Piezokeramik, Verfahren zur Herstellung eines Piezo-Aktors und Verwendung des Piezo-Aktors

㉖ Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Polarisieren einer Piezokeramik, bei der eine Vielzahl von aufeinanderfolgenden Gleichspannungspulsen verwendet wird, die in ihrer Pulsform dem späteren Betrieb der Piezokeramik, beispielsweise in einem Kraftfahrzeug, entsprechen. Ferner wird die Polarisierung bei erhöhter Temperatur, wie sie auch später im Betrieb der Piezokeramik auftritt, durchgeführt. Das erfindungsgemäße Verfahren hat den Vorteil, daß die Piezokeramik nur noch sehr geringen Setzeffekten ausgesetzt ist, wodurch sich die Länge der Piezokeramik in ihrem Ruhezustand während des Betriebs nicht mehr ändert. Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines Piezo-Aktors und die Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Polarisieren einer Piezokeramik. Darüber hinaus betrifft die Erfindung die Verwendung eines gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Piezo-Aktors unter den Bedingungen, unter denen die Piezokeramik des Piezo-Aktors polarisiert worden ist.



**DE 100 28 335 A 1**

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Polarisieren einer Piezokeramik, wobei, ausgehend von einem Grundkörper aus unpolarisierter Piezokeramik mit wenigstens zwei flächig einander gegenüberliegenden Elektroden, eine elektrische Spannung an die Elektroden angelegt wird. Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines Piezo-Aktors. Darüber hinaus betrifft die Erfindung die Verwendung des Piezo-Aktors.

[0002] Eine Piezokeramik ist ein Material, das sich aufgrund des piezoelektrischen Effekts beim Anlegen einer elektrischen Spannung ausdehnt. Solche Piezokeramiken bilden die Basis für Piezo-Aktoren, die beim Anlegen einer Spannung einen Verfahrensweg von einigen Mikrometern realisieren. Die Piezokeramik weist elektrische Dipolmomente auf, die jeweils innerhalb von Weiss'schen Bezirken, die gegeneinander abgegrenzt sind, eine Vorzugsrichtung aufweisen. In einem unpolarisierten Grundzustand der Piezokeramik sind die Vorzugsrichtungen der einzelnen Weiss'schen Bezirke ungeordnet, so daß nach außen hin keine makroskopische elektrische Polarisierung der Piezokeramik vorliegt.

[0003] Um den piezoelektrischen Effekt für Piezo-Aktoren nutzbar zu machen, muß die Piezokeramik durch das Ausrichten der elektrischen Dipolmomente polarisiert werden, wonach die elektrischen Dipolmomente in allen Weiss'schen Bezirken nicht oder nur sehr wenig von einer durch eine Polarisationsachse vorgegebenen Vorzugsrichtung abweichen.

[0004] Die Piezokeramiken werden als Grundkörper von Piezo-Aktoren eingesetzt, welche beispielsweise Verwendung in Kraftfahrzeugen finden. Piezo-Aktoren werden in diesem Bereich vorzugsweise zur Steuerung der Position von Schließnadeln von Einspritzventilen in Kraftstoffeinspritzsystemen verwendet. Bei dieser Anwendung wird der Piezo-Aktor bei einer Temperatur von etwa 40 bis 150°C betrieben. Desweiteren erfolgt der Betrieb des Piezo-Aktors typischerweise bei einer Gleichspannung von bis zu 180 Volt, die in Form von kurzen Pulsen, die mit einer Frequenz zwischen 0,1 und 200 Hertz auftreten, an den Piezo-Aktor angelegt wird. Da bei diesen Anwendungen der gewünschte Effekt durch Längenänderungen der Piezokeramik von typischerweise 40 µm erreicht wird, ist es wichtig, daß der Keramik-Grundkörper im spannungslosen Zustand (Ruhezustand) eine konstante Länge (Ruhelänge) aufweist, die sich im Laufe der Zeit nicht ändert.

[0005] Es sind Verfahren zum Polarisieren einer Piezokeramik bekannt, wobei bei einer Temperatur von etwa 25°C ein Spannungspuls in Form eines Dreieckspulses mit einer Dauer von 500 Sekunden an die Piezokeramik angelegt wird.

[0006] Die bekannten Verfahren zum Polarisieren der Piezokeramik haben den Nachteil, daß sie bei einer relativ geringen Temperatur durchgeführt werden. Bei einer Temperatur von 25°C weisen die elektrischen Dipolmomente der Piezokeramik nur eine sehr eingeschränkte Beweglichkeit auf, wodurch das Ausrichten der elektrischen Dipolmomente entlang einer durch die von außen angelegte Spannung vorgegebene Polarisationsachse nur sehr unvollständig erfolgt. Entsprechend ist eine verlängerte Polarisierungsdauer, das heißt, ein längeres Anlegen der Polarisierungsspannung, notwendig.

[0007] Desweiteren haben die bekannten Verfahren zum Polarisieren einer Piezokeramik den Nachteil, daß durch den einmaligen dreieckförmigen Spannungspuls lediglich ein einmaliges Spannen und darauffolgendes Entspannen der Piezokeramik erfolgt. Dies bedeutet, daß bei einem späteren Betrieb der Piezokeramik mit einer Vielzahl von Span-

nungs- und Entspannungsvorgängen Setzeffekte auftreten können, die die Ruhelänge der Piezokeramik während des Betriebes verändern.

[0008] Dadurch haben die bekannten Verfahren zum Polarisieren einer Piezokeramik auch den Nachteil, daß sich ein Einbau eines piezokeramischen Grundkörpers in ein durch die Abmessungen der Piezokeramik definiertes Gehäuse mit festen Abmessungen schwierig gestaltet, da sich, wie bereits oben erläutert, die Abmessung der Piezokeramik während des Betriebs als Piezo-Aktor noch verändern kann. Zur Erreichung einer hohen Verfahrensgenauigkeit ist dann eine Nachbearbeitung des Gehäuses notwendig.

[0009] Im Hinblick auf eine nachfolgende Verwendung der Piezokeramik in einem Piezo-Aktor für den Kraftfahrzeug-Bereich haben die bekannten Verfahren zum Polarisieren einer Piezokeramik zudem den Nachteil, daß die Bedingungen, bei denen die Piezokeramik polarisiert wird (insbesondere die Temperatur und die verwendete Pulsform) nicht den Bedingungen beim späteren Betrieb im Kraftfahrzeug entsprechen. Auch dadurch besteht die Gefahr, daß sich durch Setzeffekte die geometrische Abmessungen der Keramik im Ruhezustand während des Betriebes noch weiter ändern.

[0010] Es ist ferner ein Verfahren zur Herstellung eines Piezo-Aktors bekannt, wobei aus mehreren übereinandergestapelten, mit Elektroden versehenen Piezokeramiken ein Grundkörper gebildet wird, so daß sich die Längenänderungen der einzelnen Keramiken auf diese Weise addieren. Der Grundkörper wird zwischen zwei parallel zu den Elektroden verlaufende Platten unter Ausübung einer Druckspannung auf den Grundkörper eingespannt. Anschließend wird die Piezokeramik mit dem bereits oben beschriebenen Verfahren polarisiert. Danach wird die zwischen die Platten eingespannte Piezokeramik so in ein Gehäuse eingebaut, daß die erste Platte relativ zum Gehäuse fixiert ist und daß die zweite Platte relativ zum Gehäuse bewegbar ist. Anschließend wird die Piezokeramik einem Alterungsprozeß unterzogen, der wenigstens eine Stunde dauert. Nach dem Altern der Piezokeramik wird durch Abtragen von Material, beispielsweise durch Abschleifen, von der zweiten, beweglichen Platte und/oder vom Gehäuse erreicht, daß die Außenseite der zweiten Platte mit dem Gehäuse plan ist. Somit werden die äußeren Abmessungen des Piezo-Aktors definiert, von wo aus dann durch Anlegen einer Spannung an die Piezokeramik die zweite Platte relativ zum Gehäuse um einen Verfahrensweg von zirka 40 µm bewegbar ist. Anschließend erfolgt die weitere Montage des Piezo-Aktors, beispielsweise im Kraftfahrzeug.

[0011] Das bekannte Verfahren zur Herstellung eines Piezo-Aktors hat den Nachteil, daß sich durch Setzeffekte in der Piezokeramik die zweite, bewegliche Platte gegenüber dem Gehäuse verschiebt, so daß daraus ein unerwünschter Offset in der Ausdehnung des Piezo-Aktors beziehungsweise im Verfahrensweg des Piezo-Aktors resultiert. In Experimenten wurden Setzeffekte nachgewiesen, die nach 100 Schaltzyklen eine Veränderung der Ruhelänge der Piezokeramik von 5 bis 7 µm bewirkt haben. Wegen des frühen Zeitpunkts des Polarisierens wirken sich zudem die nachfolgenden Verfahrensschritte zur Herstellung des Piezo-Aktors besonders nachteilig auf die Ruhelänge der Piezokeramik aus.

[0012] Ziel der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren zum Polarisieren einer Piezokeramik anzugeben, das nachfolgende, die Ruhelänge der Piezokeramik verändernde Setzeffekte weitgehend vermeidet.

[0013] Ferner ist es Ziel der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Herstellung eines Piezo-Aktors anzugeben, der stabile äußere Abmessungen auch während seines Betriebes aufweist.

[0014] Diese Ziele werden erfindungsgemäß durch ein Verfahren zum Polarisieren einer Piezokeramik nach Anspruch 1 und durch ein Verfahren zur Herstellung eines Piezo-Aktors nach Anspruch 6 erreicht. Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sowie die Verwendung eines gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Piezo-Aktors sind den weiteren Ansprüchen zu entnehmen.

[0015] Die Erfindung gibt ein Verfahren zum Polarisieren einer Piezokeramik an, das von einem Grundkörper aus unpolarisierter Piezokeramik ausgeht. Dieser Grundkörper weist wenigstens zwei flächig einander gegenüberliegende Elektroden auf. An diese Elektroden wird eine Anzahl von Spannungspulsen angelegt, deren Pulshöhen einer zeitabhängigen Hüllkurve folgen. Die Anzahl der Spannungspulse beträgt dabei mindestens zwei, so daß schon während des Polarisierens der Piezokeramik ein entsprechender Setzeffekt auftreten kann, der die Ruhelänge der polarisierten Piezokeramik stabilisiert.

[0016] Die Hüllkurve wächst in einem ersten Abschnitt während einer Anstiegszeit von einer minimalen Spannung auf eine maximale Spannung an. In einem zweiten Abschnitt wird während einer Haltezeit die maximale Spannung gehalten. Die minimale Spannung wird dabei so gewählt, daß beim Aufladen der Elektroden die maximal verträgliche Aufladung der noch unpolarisierten Piezokeramik nicht überschritten wird. Desweiteren wird die maximale Spannung so gewählt, daß sie zur Ausbildung einer dauerhaften Polarisierung geeignet ist.

[0017] Das erfindungsgemäße Verfahren zum Polarisieren einer Piezokeramik hat den Vorteil, daß durch die Mindestanzahl von zwei Spannungspulsen während des Polarisierens bereits ein Setzeffekt eintritt, der die Ruhelänge der polarisierten Piezokeramik stabilisiert.

[0018] Desweiteren ist ein Verfahren besonders vorteilhaft, wobei die Spannungspulse während einer Pulsanstiegszeit von 0 Volt auf die jeweilige Pulshöhe ansteigen. Während einer Pulshaltezeit wird die Pulshöhe gehalten. Während einer Pulsabfallzeit fällt der Spannungspuls von der jeweiligen Pulshöhe auf 0 Volt ab. Darüber hinaus folgen die Spannungspulse mit einer konstanten Pulsfrequenz aufeinander und weisen eine Gesamtpulsdauer von kleiner oder gleich 12 Millisekunden auf.

[0019] Diese Spannungspulse haben den Vorteil, daß sie leicht erzeugbar sind, insbesondere dann, wenn sie eine Trapezform aufweisen. Durch ihre kurze Dauer von maximal 12 ms können sie innerhalb einer vertretbaren Zeitspanne mehrmals wiederholt werden. Diese Zeitspanne ist wesentlich kürzer als die Dauer des bekannten Verfahrens zum Polarisieren einer Piezokeramik. Somit wird durch das erfindungsgemäße Verfahren zum Polarisieren einer Piezokeramik Zeit eingespart.

[0020] Ferner ist ein Verfahren zum Polarisieren einer Piezokeramik besonders vorteilhaft, wobei gilt:

$$50 \text{ ms} \leq \text{Pulsanstiegszeit} \leq 1 \text{ ms};$$

$$0,5 \text{ ms} \leq \text{Pulshaltezeit} \leq 10 \text{ ms};$$

$$50 \text{ } \mu\text{s} \leq \text{Pulsabfallzeit} \leq 1 \text{ ms};$$

$$6 \leq \text{Zahl der Pulse} \leq 80\,000;$$

$$0,1 \text{ Hz} \leq \text{Pulsfrequenz} \leq 200 \text{ Hz};$$

$$60 \text{ s} \leq \text{Anstiegszeit} + \text{Haltezeit} \leq 300 \text{ s};$$

$$0,1 \leq \text{Anstiegszeit} / (\text{Anstiegszeit} + \text{Haltezeit}) \leq 0,9.$$

[0021] Ein solches Verfahren hat den Vorteil, daß die Gesamtdauer (Anstiegszeit + Haltezeit) sehr kurz ist, verglichen mit den bekannten Zeitdauern zum Polarisieren. Durch die Variation des Anteils der Anstiegszeit an der Gesamtdauer des Polarisierungsverfahrens (Anstiegszeit + Haltezeit), kann das Polarisierungsverfahren an die Beweglichkeit der Domänenwände der Keramik flexibel angepaßt werden. Die Pulshaltezeit der einzelnen Spannungspulse wird

dabei so gewählt, daß die Domänenwände der Weiss'schen Bezirke auch Fehlstellen im Kristallaufbau der Piezokeramik überwinden können und so die Einstellung einer Polarisierungsrichtung nicht behindert wird.

[0022] Desweiteren ist ein Verfahren zur Polarisierung einer Piezokeramik besonders vorteilhaft, das bei einer Temperatur zwischen 50°C und 150°C durchgeführt wird. Durch diese hohe Temperatur wird erreicht, daß aufgrund der dadurch erhöhten Beweglichkeit der elektrischen Dipolmomente in der Piezokeramik ein in der Dauer verkürzter Spannungspuls zum Erreichen einer Vorzugspolarisierung genügt, beziehungsweise eine verbesserte und damit stabilere Polarisierung der Piezokeramik erreicht werden kann.

[0023] Desweiteren hat sich durch Experimente ein Verfahren zum Polarisierung einer Piezokeramik als besonders geeignet herausgestellt, wobei die maximale Spannung viermal so groß war, wie die minimale Spannung.

[0024] Darüber hinaus gibt die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines Piezo-Aktors an, das, ausgehend von einem Grundkörper aus einer Piezokeramik, der wenigstens zwei flächig einander gegenüberliegende Elektroden aufweist, folgende Schritte umfaßt:

a) Einspannen des Grundkörpers zwischen zwei parallel zu den Elektroden verlaufende Platten, so daß die Platten eine Druckspannung bis zu 100 MPa auf den Grundkörper ausüben

b) Einbau des Grundkörpers so in ein Gehäuse, daß die erste Platte relativ zum Gehäuse fixiert ist und daß die zweite Platte relativ zum Gehäuse bewegbar ist

c) Polarisieren der Piezokeramik gemäß dem oben beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahren

d) Abtragen von Material von der zweiten Platte und/oder vom Gehäuse, so daß die Außenseite der zweiten Platte mit dem Gehäuse plan ist.

[0025] Das Verfahren zur Herstellung eines Piezo-Aktors hat den Vorteil, daß das Polarisieren der Piezokeramik zu einem relativ späten Zeitpunkt erfolgt, wodurch auf den Alterungsprozeß verzichtet und somit Zeit eingespart werden kann.

[0026] Darüber hinaus ist es möglich, das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung eines Piezo-Aktors so aufzuteilen, daß das Polarisieren der Piezokeramik bereits bei dem mit dem Piezo-Aktor zu beliefernden Kunden durchgeführt wird. Dadurch wird der Vorteil erreicht, daß bereits durch die kundenspezifische Anschlußstecker eine feste Polarisierung vorgegeben wird und somit auf eine Polarisierungscodierung (Pluspol und Minuspol, die durch das Polarisieren der Piezokeramik festgelegt sind) verzichtet werden kann.

[0027] Das Abtragen von Material von der zweiten Platte beziehungsweise vom Gehäuse kann beispielsweise durch Schleifen oder Fräsen erfolgen.

[0028] Die Erfindung gibt darüber hinaus die Verwendung eines mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Piezo-Aktors an, wobei Spannungspulse mit der maximalen Spannung des Verfahrens zum Polarisieren der Piezokeramik als Pulshöhe und mit einer Pulsdauer von maximal 12 ms verwendet werden. Ferner wird der Piezo-Aktor bei einer Temperatur verwendet, die von der Temperatur, bei der das Verfahren zur Polarisierung der Piezokeramik durchgeführt wurde, um weniger als 20% abweicht.

[0029] Die erfindungsgemäße Verwendung des Piezo-Aktors hat den Vorteil, daß die Spannungen und Temperaturen beim Betrieb des Aktors nur sehr wenig beziehungsweise gar nicht von den Spannungen und Temperaturen bei der Polarisierung der Piezokeramik abweichen. Dadurch sind die

optimalen Voraussetzungen zur Aufrechterhaltung einer festen Ruhelänge der Piezokeramik gegeben. Bei der weiter oben bereits beschriebenen Verwendung von Piezo-Aktoren im Kraftfahrzeug bei mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Piezo-Aktoren eine Veränderung der Ruhelänge während des Betriebs von weniger als 1 µm gemessen.

[0030] Im folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und den zugehörigen Figuren näher erläutert.

[0031] Fig. 1 zeigt den Verlauf einer beispielhaften Hüllkurve, der die bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Polarisierung der Piezokeramik angelegten Spannungspulse folgen.

[0032] Fig. 2 zeigt beispielhaft den zeitlichen Verlauf eines Spannungspulses, der beim erfindungsgemäßen Verfahren zur Polarisierung der Piezokeramik an die Piezokeramik angelegt wird.

[0033] Fig. 3 zeigt einen beispielhaften Piezo-Aktor während seiner Herstellung mit dem erfindungsgemäßen Verfahren vor dem Polarisieren der Piezokeramik im schematischen Querschnitt.

[0034] Fig. 4 zeigt den Piezo-Aktor aus Fig. 3 nach dem Polarisieren der Piezokeramik und nach dem Abtragen von Material von der zweiten Platte und/oder vom Gehäuse.

[0035] Fig. 1 zeigt die eine Spannung  $U$  beschreibende Hüllkurve 5 in Abhängigkeit von der Zeit  $t$ . Die Hüllkurve 5 bestimmt dabei die Pulshöhe  $U_p$  der zum Polarisieren der Piezokeramik verwendeten Spannungspulse 4. Während einer Anstiegszeit  $T_A$  steigt die Hüllkurve 5 von einer minimalen Spannung  $U_{MIN}$  auf eine maximale Spannung  $U_{MAX}$  an. Dieser Anstieg verläuft im Beispiel aus Fig. 1 linear. Während einer Haltezeit  $T_H$  wird die maximale Spannung  $U_{MAX}$  von der Hüllkurve 5 gehalten. Die Gesamtdauer des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Polarisieren einer Piezokeramik ist dabei durch die Summe aus  $T_A$  und  $T_H$  gegeben. Die Gesamtdauer der Hüllkurve  $T_A + T_H$  beträgt zwischen 60 Sekunden und 300 Sekunden, vorzugsweise 180 Sekunden.

[0036] Die Spannungspulse 4 werden innerhalb der Hüllkurve 5 mit einer Pulsfrequenz  $f_p$  zwischen 0,1 Hertz und 200 Hertz wiederholt. Die minimale Spannung  $U_{MIN}$  beträgt vorzugsweise 40 Volt. Sie kann aber auch z. B. 20 Volt betragen. Die maximale Spannung  $U_{MAX}$  beträgt vorzugsweise 160 Volt. Sie kann aber auch z. B. 80 Volt betragen. Die Anstiegszeit  $T_A$  der Hüllkurve 5 hat einen Anteil an der Gesamtdauer des Polarisierungsvorgangs  $T_A + T_H$  zwischen 10 und 90%.

[0037] Fig. 2 zeigt den zeitlichen Verlauf der Spannung  $U$  eines Spannungspulses 4 in Abhängigkeit von der Zeit  $t$ . Während einer Pulsanstiegszeit  $T_{PA}$  wächst der Spannungspuls 4 von 0 Volt auf die Pulshöhe  $U_p$  an. Dieses Anwachsen erfolgt im Beispiel aus Fig. 2 linear. Die Pulsanstiegszeit  $T_{PA}$  kann zwischen 50 µs und 1 Millisekunde, vorzugsweise 100 µs lang sein. Während einer Pulshaltezeit  $T_{PH}$  hält der Spannungspuls 4 die Pulshöhe  $U_p$ . Die Pulshaltezeit  $T_{PH}$  kann zwischen 0,5 ms und 10 Millisekunden variieren und beträgt vorzugsweise 1,5 ms. Während einer Pulsabfallzeit  $T_{PAB}$  fällt der Spannungspuls 4 von der Pulshöhe  $U_p$  auf 0 Volt ab. Die Pulsabfallzeit  $T_{PAB}$  kann zwischen 50 µs und 1 Millisekunde betragen. Vorzugsweise beträgt die Pulsabfallzeit  $T_{PAB}$  100 µs.

[0038] Der in Fig. 2 dargestellte Spannungspuls 4 hat die Form eines Trapezes, so daß er besonders einfach zu erzeugen ist. Eine weitere zu bevorzugende Ausführungsform des Spannungspulses 4 ist ein symmetrischer Spannungspuls 4, bei dem die Pulsanstiegszeit  $T_{PA}$  genauso groß ist wie die Pulsabfallzeit  $T_{PAB}$ .

[0039] Innerhalb der in Fig. 1 dargestellten Hüllkurve

können von dem in Fig. 2 dargestellten Spannungspuls 4 eine Anzahl von 6 bis 80.000 Pulse erfolgen. Vorzugsweise wird zum Polarisieren der Piezokeramik eine Anzahl  $N$  der Spannungspulse von 15.000 verwendet.

[0040] Fig. 3 zeigt einen Piezo-Aktor während seiner Herstellung durch das erfindungsgemäße Verfahren. Er besteht aus einem Grundkörper 1, welcher ein Körper aus einer Piezokeramik ist. Diese Piezokeramik weist 67 Gewichtsprozent  $Pb_3O_4$ , zirka 1 Gewichtsprozent  $Nd_2O_3$ , 21 Gewichtsprozent  $ZrO_2$  und etwa 11 Gewichtsprozent  $TiO_2$  auf. Die Erfindung ist jedoch nicht auf eine solche Piezokeramik beschränkt, sondern kann mit sämtlichen Keramiken verwirklicht werden, die geeignete piezoelektrische Eigenschaften aufweisen.

[0041] Der Grundkörper 1 weist erste Elektroden 2 und zweite Elektroden 3 auf, die kammtartig ineinander greifen, wodurch sich die piezoelektrischen Effekte vieler einander gegenüberstehender Keramikschichten zwischen jeweils einer ersten Elektrode 2 und einer zweiten Elektrode 3 aufsummieren. Die ersten Elektroden 2 und die zweiten Elektroden 3 bestehen aus einer Mischung von Silber und Palladium im Gewichtsverhältnis zwischen 90/10 und 70/30. Der Grundkörper 1 ist durch Sintern hergestellt, weswegen als Elektroden 2, 3 alle bei Sinterbedingungen stabilen Metalle beziehungsweise Metallegierungen geeignet sind.

[0042] Der Grundkörper 1 hat die Form eines Quaders mit einer Grundfläche von  $7 \times 7$  mm. Er weist eine Höhe von 30 mm auf. Die ersten Elektroden 2 beziehungsweise die zweiten Elektroden 3 sind mit jeweils einer Außenelektrode 9 verbunden, die aus Silber besteht. Mittels Verbindungsdrähten 11 sind die Außenelektroden 9 mit Kontaktstiften 10 elektrisch verbunden.

[0043] Der Grundkörper 1 ist zusammen mit den Kontaktstiften 10 und den Verbindungsdrähten 11 in eine Vergußmasse 12 eingebettet, die aus Silikongummi besteht. Der in die Vergußmasse 12 eingehüllte Grundkörper 1 wird zwischen zwei Platten 6, 7 eingespannt. Die erste Platte 6 befindet sich dabei auf der Oberseite des Grundkörpers 1 in paralleler Ausrichtung zu den Elektroden 2, 3. Die zweite Platte 7 befindet sich auf der Unterseite des Grundkörpers 1, ebenfalls in paralleler Ausrichtung zu den Elektroden 2, 3. Zwischen den Platten 6, 7 ist eine Zugfeder 13 angeordnet, die die Form einer Rohrfeder hat und die die Platten 6, 7 zusammenpreßt, so daß eine Klemmkraft auf den Grundkörper 1 wirkt.

[0044] Beim Anlegen einer Gleichspannung zwischen den Kontaktstiften 10 dehnt sich der Grundkörper 1 aufgrund des piezoelektrischen Effekts in einer Richtung aus, die senkrecht auf den Elektroden 2, 3 steht und in der Figur durch einen Pfeil an der Unterseite der zweiten Platte 7 angedeutet ist. Dabei arbeitet der keramische Grundkörper 1 gegen die von der Zugfeder 13 ausgeübte Klemmkraft. Der in Fig. 3 dargestellte Piezo-Aktor ist so ausgelegt, daß er sich bei einer Spannung von etwa 150 Volt unter Ausübung einer Kraft von 1500 N um zirka 40 µm verlängert.

[0045] Die in die Vergußmasse 12 eingegossene Anordnung ist schließlich in ein Gehäuse 8 eingeschweißt, das so beschaffen ist, daß es mit der ersten Platte 6 fest verbunden ist, und daß die zweite Platte 7 relativ zum Gehäuse 8 frei beweglich ist. Der in Fig. 3 dargestellte Piezo-Aktor befindet sich in einem Zustand, in dem die zweite Platte 7 und das Gehäuse 8 auf der Unterseite des Piezo-Aktors noch keine gemeinsame ebene Fläche bilden.

[0046] Fig. 4 zeigt den in Fig. 3 dargestellten Piezo-Aktor nach dem Polarisieren der Keramik und nach dem Erzeugen einer planen Unterseite des Piezo-Aktors. Durch Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Polarisieren der Piezokeramik, die den Grundkörper 1 des Piezo-Aktors

bildet, ist es möglich, durch Abtragen von Material von der zweiten Platte 7 beziehungsweise von dem Gehäuse 8 eine plane Unterseite des Piezo-Aktors herzustellen, die sich auch im weiteren Betrieb des Piezo-Aktors nicht mehr wesentlich verändert. Die plane Unterseite gilt für den Fall des spannungslosen Ruhezustands der Piezokeramik und verändert sich während des erfindungsgemäßen Betriebs des Piezo-Aktors praktisch nicht mehr.

[0047] Die vorliegende Erfindung beschränkt sich nicht auf die dargestellten Ausführungsbeispiele, sondern wird in ihrer allgemeinsten Form durch die Patentansprüche 1 und 6 definiert.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Polarisieren einer Piezokeramik, wobei, ausgehend von einem Grundkörper (1) aus unpolarisierter Piezokeramik mit wenigstens zwei flächig einander gegenüberliegenden Elektroden (2, 3), eine Anzahl (N) von Spannungspulsen (4) an die Elektroden (2, 3) angelegt wird, deren Pulshöhen ( $U_p$ ) einer zeitabhängigen Hüllkurve (5) folgen, die in einem ersten Abschnitt während einer Anstiegszeit ( $T_A$ ) von einer minimalen Spannung ( $U_{MIN}$ ) auf eine maximale Spannung ( $U_{MAX}$ ) anwächst und die in einem zweiten Abschnitt während einer Haltezeit ( $T_H$ ) die maximale Spannung ( $U_{MAX}$ ) hält, wobei die minimale Spannung ( $U_{MIN}$ ) so gewählt wird, daß beim Aufladen der Elektroden (2, 3) die maximal verträgliche Aufladung der noch unpolarisierten Piezokeramik unterschritten wird, wobei die maximale Spannung ( $U_{MAX}$ ) so gewählt wird, daß sie zur Ausbildung einer dauerhaften Polarisierung geeignet ist, und wobei  $N \geq 2$  ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Spannungspulse während einer Pulsanstiegszeit ( $T_{PA}$ ) von 0 V auf die jeweilige Pulshöhe ( $U_p$ ) ansteigen, während einer Pulsehaltezeit ( $T_{PH}$ ) die Pulshöhe ( $U_p$ ) halten und während einer Pulsabfallzeit ( $T_{PAB}$ ) von der jeweiligen Pulshöhe ( $U_p$ ) auf 0 V abfallen, wobei die Pulsdauer  $T_{PA} + T_{PH} + T_{PAB} \leq 12$  s ist, und wobei die Spannungspulse (4) mit einer konstanten Pulsfrequenz ( $F_p$ ) aufeinanderfolgen.
3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei gilt:  
 $50 \mu s \leq T_{PA} \leq 1$  ms;  $0,5$  ms  $\leq T_{PH} \leq 10$  ms;  
 $50 \mu s \leq T_{PAB} \leq 1$  ms;  $6 \leq N \leq 80\,000$ ;  
 $0,1$  Hz  $\leq F_p \leq 200$  Hz;  $60$  s  $\leq T_A + T_H \leq 300$  s;  
 $0,1 \leq T_A / (T_A + T_H) \leq 0,9$ .
4. Verfahren nach Anspruch 1 bis 3, das bei einer Temperatur zwischen 50°C und 150°C durchgeführt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1 bis 4, wobei gilt:  $U_{MAX} = 4 \times U_{MIN}$ .
6. Verfahren zur Herstellung eines Piezo-Aktors, ausgehend von einem Grundkörper (1) aus einer Piezokeramik, der wenigstens zwei flächig einander gegenüberliegende Elektroden (2, 3) aufweist, mit folgenden Schritten:
  - a) Einspannen des Grundkörpers (1) zwischen zwei parallel zu den Elektroden (2, 3) verlaufende Platten (6, 7), so daß die Platten eine Druckspannung auf den Grundkörper (1) ausüben
  - b) Einbau des Grundkörpers (1) so in ein Gehäuse (8), daß die erste Platte (6) relativ zum Gehäuse (8) fixiert ist und daß die zweite Platte (7) relativ zum Gehäuse (8) bewegbar ist
  - c) Polarisieren der Piezokeramik gemäß einem Verfahren nach Anspruch 1 bis 5

d) Abtragen von Material von der zweiten Platte (7) und/oder vom Gehäuse (8), so daß die Außen-seite der zweiten Platte (7) mit dem Gehäuse (8) plan ist.

7. Verwendung eines gemäß dem Verfahren nach Anspruch 6 hergestellten Piezo-Aktors mit Spannungspulsen einer Pulshöhe, die der maximalen Pulshöhe ( $U_{MAX}$ ) entspricht, einer maximalen Pulsdauer von 12 s und bei einer Temperatur, die von der Temperatur, bei der das Verfahren zur Polarisierung der Piezokeramik durchgeführt wurde, um weniger als 20% abweicht.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

FIG 1

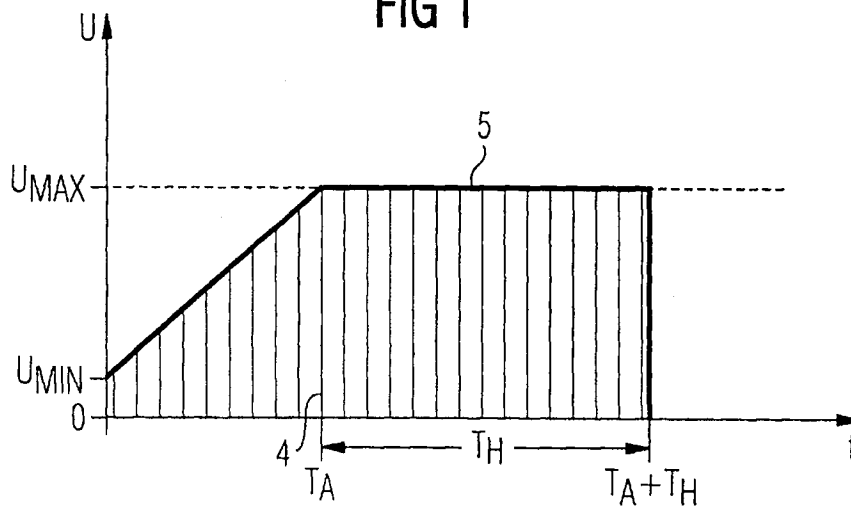
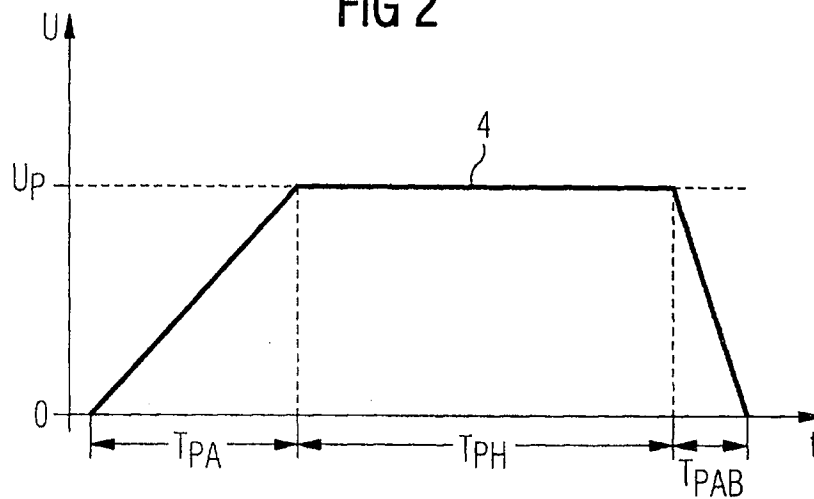
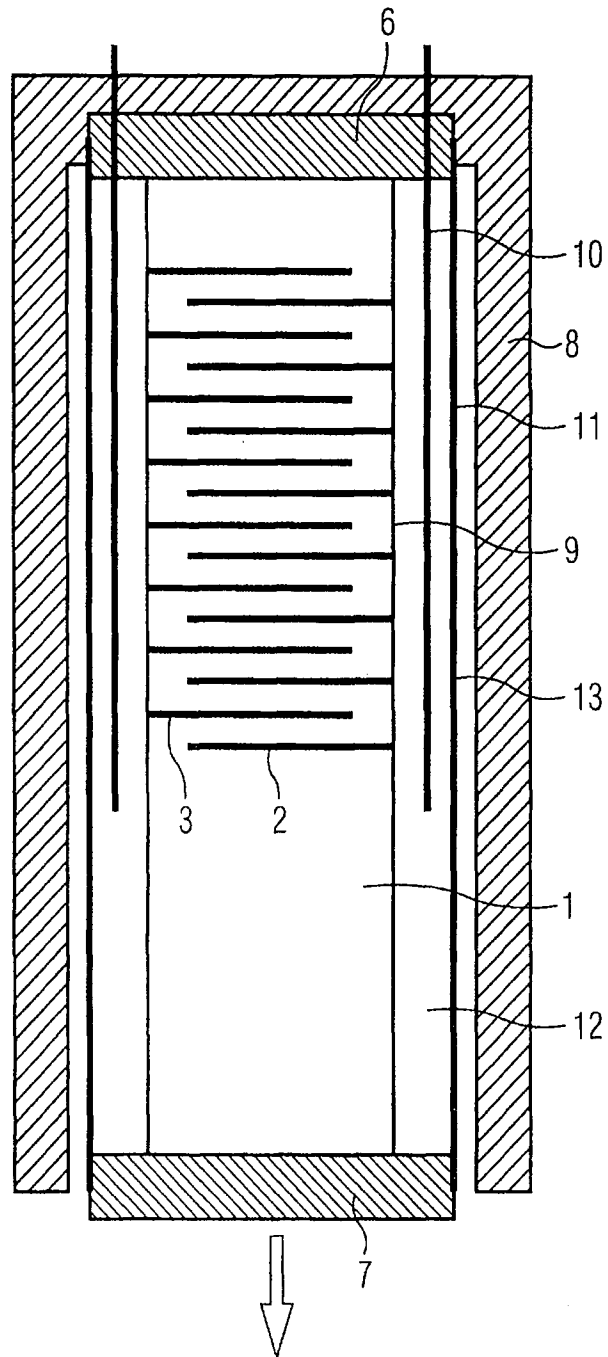


FIG 2



**FIG 3**





**FIG 4**

